

企业能源审计与节能技术

QIYE NENGYUAN SHENJI YU JIENENG JISHU

尹洪超 主编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

企业能源审计与节能技术

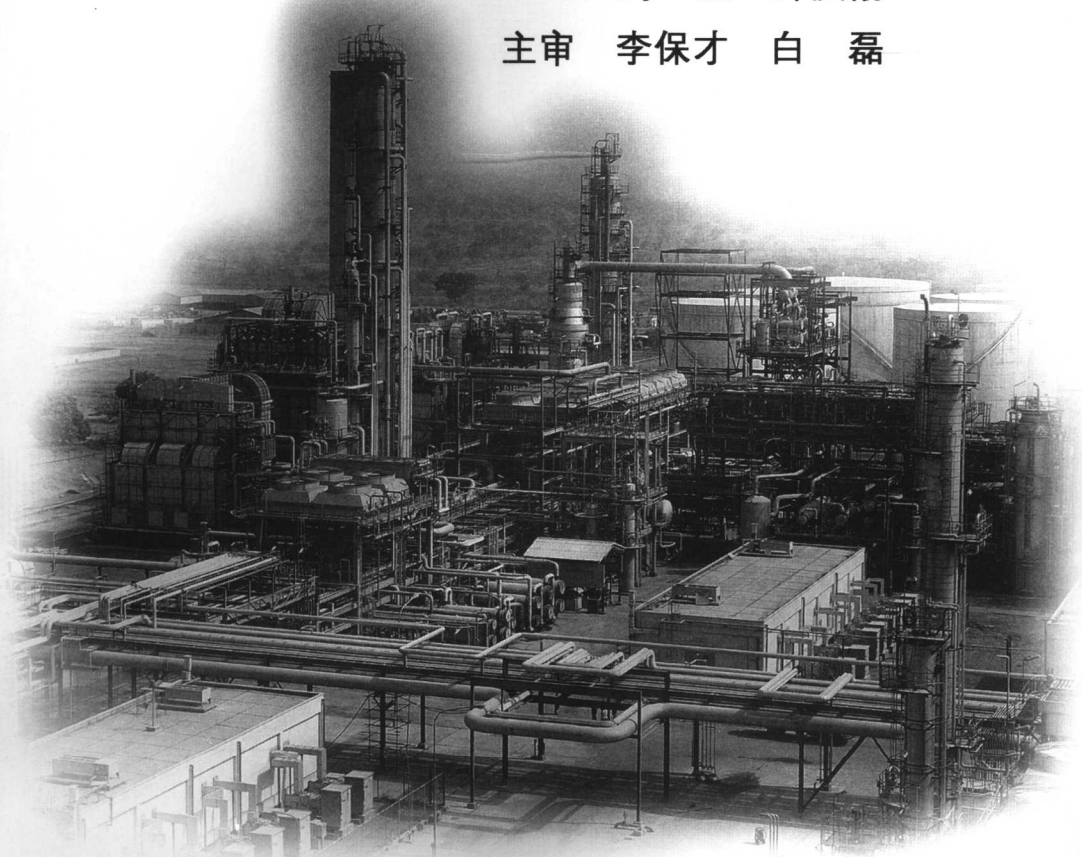
QIYE NENGYUAN SHENJI YU JIENENG JISHU

主编 尹洪超

编著 尹洪超 赵亮 殷丽娜

刘红 邱庆刚

主审 李保才 白磊



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

企业能源审计与节能技术 / 尹洪超主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2006. 12

ISBN 7-5611-3408-8

I. 企… II. 尹… III. ①企业管理—能源—审计
②企业—节能 IV. ①F239.62 ②F270

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 153289 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:17 字数:295千字
2006年12月第1版 2006年12月第1次印刷

责任编辑:刘新彦 范业婷 责任校对:婕琳
封面设计:宋 蕾

定 价:38.00 元

◎ 内容简介

本书根据国家对重点耗能企业进行能源审计和节能规划的节能行动要求,分析了我国能源形势与工业节能潜力,介绍了企业能源审计方法和重点耗能行业的节能技术。主要内容包括:节能原理、能源审计方法、企业能量平衡、节能诊断、节能规划、企业通用节能技术、重点耗能行业节能技术、节能自愿协议与合同能源管理等内容,书末附有企业能源审计的相关标准和企业能源审计的推荐提纲与案例。

◎ 适用对象

本书可作为能源监测机构从业人员、政府及企业的能源管理人员以及与节能有关的专业研究人员和工程技术人员的培训教材或参考书,也可作为能源学科各专业的大学生和研究生的教学参考书。



作者简介

尹洪超，1960年生，山东淄博人，大连理工大学能源与动力学院教授、博士生导师。主要研究领域：热能工程，化工系统节能，能源与环境，运筹学与控制论；主要研究方向：能量利用与高效节能技术，过程能量系统集成优化，环保与资源综合利用，复杂能量系统控制与优化算法。先后参加了973、国家自然科学基金、辽宁省科技基金等多项课题，主持了石化过程能量系统集成、换热网络优化改造、蒸汽动力系统优化、高黏渣余热锅炉研制开发、低温余热回收、锅炉加热炉节能改造等30余项课题，并在石化行业取得了显著的节能经济效益；发表学术论文70余篇，其中EI、ISTP收录论文20余篇，出版专著2部；获得发明专利2项。

自1987年完成第一个能源审计(大连油脂工业总厂能源审计)项目以来，先后对50多个企业进行了能量平衡、能源监测、节能诊断、用能分析优化、能源审计、节能改造方案研究与工程设计等，特别是在石油、石化、热电、水泥等行业的能源审计和节能改造中积累了丰富的丰富经验。

作者信箱：hcyin@dlut.edu.cn

责任编辑：刘新彦 范业婷
封面设计：宋蕾

编委会

编委会主任 石光（辽宁省经委）

委 员（按姓氏笔画排列）

白磊（河南省南阳市能源利用监测所）

宋永臣（大连理工大学）

宋振军（大连市经委）

张立志（大连市经委）

李保才（河南省南阳市国资委）

肖锦生（辽宁省经委）

胡强（辽宁省经委）

赵中友（河南省发改委）

颜立潮（河南省节能监测中心）

前 言

党中央、国务院高度重视节能工作，胡锦涛总书记、温家宝总理多次就节约能源资源工作做出重要指示，党的十六届五中全会提出把节约资源作为一项基本国策，“十一五”规划《纲要》进一步把“十一五”时期单位 GDP 能耗降低 20% 左右作为约束性指标。为加强重点耗能企业节能管理，充分发挥行业骨干企业的引领作用，促进合理利用能源，全面提高工业企业的能源利用效率，到“十一五”期末实现单位 GDP 能耗要比“十五”期末降低 20% 左右的目标，根据《中华人民共和国节约能源法》、《重点用能单位节能管理办法》，国家发改委等五部委研究决定在重点耗能行业组织开展千家企业节能行动。

千家企业是指钢铁、有色、煤炭、电力、石油石化、化工、建材、纺织、造纸等 9 个重点耗能行业规模以上独立核算，且年综合能源消费量达到 15 万吨标准煤以上的一千余家企业。这些重点耗能企业是我国能源消费大户，占全国能源消费总量的 33%，占工业企业能源消费总量的 47%。国家要求各企业按照《企业能源审计技术通则》国家标准(GB/T17166—1997)的要求，开展能源审计，完成审计报告；通过能源审计，分析现状，查找问题，挖掘潜力，提出切实可行的节能措施。在此基础上，编制企业节能规划，并认真加以实施。企业节能规划要目标明确，重点突出，措施有力，并有年度实施计划。

通过开展千家企业节能行动，重点抓好高耗能行业中重点企业的节能工作，强化政府对重点耗能企业节能的监督管理，促进

企业加快节能技术改造,加强节能管理,提高能源利用效率,对提高企业经济效益,缓解经济社会发展面临的能源和环境约束,确保实现“十一五”规划目标和全面建设小康社会目标,具有十分重要的意义。

为了配合重点企业的节能行动,确保节能降耗取得实效,帮助企业编制能源审计报告及节能规划,经辽宁省经委和大连市经委组织大连理工大学和中国节能教育中心编写本书。本书在编写过程中引用了大量的文献资料,并多次征求政府有关部门、企业等各方面领导和专家的意见,特别是得到了辽宁省经委、大连市经委、河南省发改委等部门领导的指导和大力支持,并得到南阳市能源利用监测所和中石化、中石油、国电电力等所属单位的大力帮助;能源审计专家李保才、白磊在百忙之中审阅书稿,提出了宝贵意见,并提供了大量的文献资料和案例;清华大学孟昭利教授也给予了指导,在此一并表示感谢!

由于受时间和水平所限,错误和疏漏之处在所难免,恳请读者给予指正。

编 者
2006 年 12 月于大连

目 录

- 第 1 章 我国能源形势与工业节能潜力分析 / 1**
 - 1.1 我国能源形势 / 1
 - 1.2 工业节能的战略地位 / 9
 - 1.3 我国工业节能潜力分析 / 11
 - 1.4 “十一五”十大重点节能工程 / 13
 - 1.5 千家企业节能行动 / 15
- 第 2 章 节能原理与方法 / 17**
 - 2.1 能量分析方法及应用 / 17
 - 2.2 企业能耗技术指标 / 24
 - 2.3 我国企业用能存在的主要问题 / 31
 - 2.4 我国企业合理用能的基本原则 / 32
 - 2.5 我国企业节能的基本途径 / 34
 - 2.6 我国企业能量系统优化和节能改造的具体内容 / 38
- 第 3 章 企业能源审计方法 / 43**
 - 3.1 企业能源审计概述 / 43
 - 3.2 企业能源审计的范围、类型、具体内容和程序 / 46
 - 3.3 企业能源计量与企业能源统计 / 52
 - 3.4 企业能源审计的方法 / 61
 - 3.5 企业节能技术经济评价方法 / 64
 - 3.6 企业能源审计报告的编制 / 69
- 第 4 章 企业能量平衡与节能诊断 / 72**
 - 4.1 企业能量平衡与节能诊断概述 / 72
 - 4.2 企业热平衡 / 73
 - 4.3 企业电平衡 / 78
 - 4.4 企业水平衡 / 83
 - 4.5 企业能量平衡表与能流图 / 87
 - 4.6 企业节能诊断 / 96
 - 4.7 企业节能规划 / 110
 - 4.8 某化工公司烧碱厂节能诊断与节能规划实例 / 113

第 5 章 企业通用节能技术	/ 125
5.1 热电联产节能技术	/ 125
5.2 锅炉、加热炉节能技术	/ 131
5.3 热管及热管换热器节能技术	/ 138
5.4 热泵节能技术	/ 142
5.5 余热回收节能技术	/ 148
5.6 风机与泵节能技术	/ 155
第 6 章 重点耗能行业节能技术	/ 162
6.1 石油、石化与化工行业节能技术	/ 162
6.2 钢铁及有色金属行业节能技术	/ 180
6.3 建材行业节能技术	/ 189
6.4 煤炭行业节能技术	/ 195
6.5 电力行业节能技术措施	/ 199
6.6 造纸行业节能技术	/ 206
6.7 纺织行业节能技术	/ 212
第 7 章 节能自愿协议与合同能源管理	/ 218
7.1 节能自愿协议概述	/ 218
7.2 节能自愿协议准则	/ 219
7.3 节能自愿协议试点项目签署和实施程序	/ 219
7.4 企业节能潜力评估方法	/ 222
7.5 节能自愿协议试点企业目标设定方法	/ 223
7.6 企业节能计划的制定	/ 225
7.7 中国节能自愿协议试点项目	/ 227
7.8 合同能源管理简介	/ 228
附录 1 企业能源审计技术通则	/ 231
附录 2 企业能源审计方法	/ 235
附录 3 企业能源审计调查大纲	/ 239
附录 4 《企业能源审计报告》大纲	/ 241
附录 5 企业能源审计实例	/ 244
附录 6 国家发展改革委办公厅关于印发企业能源审计报告和节能规划审核指南的通知	/ 258
参考文献	/ 262

第1章

我国能源形势与工业节能潜力分析

随着经济的不断发展,世界能源的消耗也迅速增长。我国虽然地大物博、资源丰富,但是人口众多,人均能源资源相对不足,环境污染严重,已成为制约我国经济和社会发展的重要因素。了解我国的能源形势,积极开展节能工作,不但可以促进企业降耗增效,还可以从源头上治理污染,有利于环境保护。

1.1 我国能源形势

讨论能源形势,主要是分析已经发生过的和正在发生以及未来可能发生的有关能源的资源情况、能源的生产和消费情况;它们之间的制约关系和矛盾;它们与经济生活的联系,对环境的影响等各方面的概况。对能源形势认识的正确与否,会直接影响到能源政策的成功或失误。

1.1.1 我国资源储量

我国资源储量和人均资源量都严重不足。在资源储量方面(表 1-1),我国石油储量仅占世界的 1.8%,天然气占 0.7%,铁矿石不足 9%,铜矿不足 5%,铅矿不足 2%。

表 1-1 我国资源储量与世界资源储量对比

序号	名称	我国资源储量占世界总储量百分比	序号	名称	我国资源储量占世界总储量百分比
1	石油	1.8%	4	铜矿	<5%
2	天然气	0.7%	5	铅矿	<2%
3	铁矿石	<9%			

在人均资源方面(表 1-2),我国人均矿产资源是世界平均水平的 1/2,人均耕地、草地资源是世界平均水平的 1/3,人均水资源是世界平均水平的

1/4,人均森林资源是世界平均水平的 1/5,人均能源占有量是世界平均水平的 1/7,其中人均石油占有量是世界平均水平的 1/10。

表 1-2 我国人均资源占有量与世界平均水平对比

序号	名称	我国人均资源占有量 与世界平均水平对比	序号	名称	我国人均资源占有量 与世界平均水平对比
1	矿产	1/2	4	森林	1/5
2	耕地、草地	1/3	5	能源	1/7
3	水	1/4	6	石油	1/10

■ 1.1.2 我国能源消费结构

1. 以煤炭为主的能源消费结构

从总量看,我国煤炭资源总量为 5.6 万亿吨,其中已探明储量为 1 万亿吨,占世界煤炭资源总储量的 11%。煤炭资源、水资源、石油资源和天然气资源分别居世界第 1、第 2、第 12 和第 24 位。但从人均煤炭可采储量看,仅相当于世界平均水平的 1/2。我国能源消费结构中,煤炭的比重长期保持在 65% 以上,这一比重是世界上最高的。我国燃煤消费量占世界燃煤消费总量的 30% 左右,为世界第一大燃煤消费国。据分析,我国石油天然气资源短缺,人均水资源相对不足,煤炭是保障国家能源安全最重要的资源。

2. 能源消费结构不断优化

能源多元化的趋势将越来越明显,对石油、天然气的消费需求增长迅速,水电、核能、可再生能源、其他新能源在能源消费结构中的份额逐步提高。从表 1-3 可以看出,煤炭消费比重由 1990 年的 76.2% 下降到 2004 年的 67.7%。从表 1-4 可以看出,一次能源生产中天然气和水电等清洁能源所占比重由 1990 年的 2.0% 和 4.8% 上升为 2004 年的 3.0% 和 7.9%,新能源和可再生能源得到了迅速发展。

表 1-3 1990~2004 年我国能源消费总量及消费结构

年份	能源消费总量	占能源消费总量的比重/%			
	万吨标煤	煤炭	石油	天然气	水电
1990	98 703	76.2	16.6	2.1	5.1
1995	131 176	74.6	17.5	1.8	6.1
2000	130 297	66.1	24.6	2.5	6.8
2001	134 914	65.3	24.3	2.7	7.7
2002	148 222	65.6	24.0	2.6	7.8
2003	170 943	67.6	22.7	2.7	7.0
2004	197 000	67.7	22.7	2.6	7.0

注:摘自国家统计局年鉴

表 1-4 1990~2004 年我国能源生产总量及生产结构

年份	能源生产总量	占能源生产总量的比重/%			
	万吨标煤	原煤	原油	天然气	水电
1990	103 922	74.2	19.0	2.0	4.8
1995	129 034	75.3	16.6	1.9	6.2
2000	106 988	66.6	21.8	3.4	8.2
2001	120 900	68.6	19.4	3.3	8.7
2002	138 369	71.2	17.3	3.1	8.4
2003	159 912	74.5	15.1	2.9	7.5
2004	184 600	75.6	13.5	3.0	7.9

注:摘自国家统计局年鉴

3. 能源消费以工业为主

在分部门能源消费构成中,工业占总量的 70%,居民生活占总量的 15%。与其他国家相比,我国工业消耗能源过多,交通运输所占比例较少,居民人均用能水平是世界主要发达国家的 1/10 左右。相关研究认为,与大多数发展中国家相比,我国重工业比重大、服务业比重轻的高能耗产业结构是目前部门能源消费构成的主要因素。近 20 年来,我国 GDP 能耗强度呈现出快速下降趋势。据对 1980 年以来工业产值能耗变动原因分析,GDP 能耗强度下降的原因,主要是国民经济产业结构和产品结构调整所致,有研究表明这部分贡献约为 80%。

4. 结构性矛盾是制约能源工业进一步发展的关键因素

从品种结构看,煤炭在能源终端消费中比重过大,天然气开发缓慢,水电开发程度仅有 18.5%,煤层气和新能源、可再生能源太少,石油受资源限制供需缺口逐渐扩大,能源供给结构与需求结构的矛盾已经影响到能源工业的持续发展。从生产结构看,煤炭采掘能力过大,而清洁加工转换发展缓慢。天然气已探明储量增长较快,应用开发不足,生产和管道输送设施部分闲置。电力发电、输电和配电结构矛盾突出,小火电机组过多、配电网和高压输送能力弱,抑制了电力消费的增长。从技术结构看,我国能源工业与国际先进水平相比较还有很大差距,技术供给与需求结构及资源结构失衡,在洁净煤技术开发和应用上表现的尤为突出。

1.1.3 我国能源发展及供求问题

1. 能源供应压力大

“十五”期间,由于能源需求增长迅速,我国能源市场由“九五”时期的供需基本均衡转向供不应求。1980 年至 2000 年,我国通过推进技术进步和

加强对重点用能单位的管理,在“开发与节约并举,把节约放在首位”的能源方针指引下,取得了GDP翻两番而能源消费仅翻一番的成就。按可比价格计算,这期间我国GDP年均增长率高达9.7%,而相应的能源消费量年均仅增长4.6%,远低于同期经济增长速度,其中1997至1999三年能耗为负增长。然而,进入21世纪以来,尤其是从2002年开始,我国能源消费增长迅猛,超过了经济发展速度。

2004年,我国一次能源生产总量18.5亿吨标煤。其中,发电量21870亿千瓦时,原煤19.56亿吨,原油1.75亿吨。能源消费总量19.7亿吨标煤。其中,煤炭消费量18.7亿吨,原油2.9亿吨,天然气415亿立方米,水电3280亿千瓦时,核电501亿千瓦时。

2005年,我国一次能源生产总量20.6亿吨标煤。与2004年相比,其中,发电量24747亿千瓦时,增长13.2%;原煤21.9亿吨,增长12.0%;原油1.81亿吨,增长3.4%。能源消费总量22.2亿吨标煤,比2004年增长12.7%。其中,煤炭消费量21.4亿吨,增长14.4%;原油3.0亿吨,增长3.4%;天然气500亿立方米,增长20.5%;水电4010亿千瓦时,增长22.3%;核电523亿千瓦时,增长4.4%。

“十五”期间我国一次能源生产总量和能源消费总量对比见表1-5及图1-1。

表 1-5 “十五”期间我国一次能源生产总量和能源消费总量对比

年份	一次能源生产总量/亿吨标煤	能源消费总量/亿吨标煤
2001	12.1	13.5
2002	13.8	14.8
2003	16.0	17.1
2004	18.5	19.7
2005	20.6	22.2

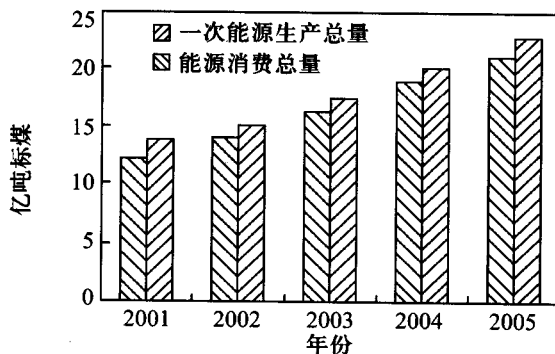


图 1-1 “十五”期间我国一次能源生产总量和能源消费总量对比

“十五”期间我国能源消费总量从2001年的13.5亿吨标煤增长到2005年的22.2亿吨标煤。如今,我国能源消费总量已经位居世界第二,约占世界能源消费总量的11%。

我国人均能源消费量较低。2004年,我国人均一次能源消费量为1.08吨标油,为世界平均水平的66%,美国的13.5%,日本的26.8%,英国的28.3%(表1-6)。目前,美国人均消费石油是我国的14倍,日本是我国的3.8倍。从世界范围来看,经济越发达,人均能源消费量越高。我国到2010年要实现人均GDP比2000年翻一番,这客观上要求人均能源消费量有较大幅度增长,特别是优质能源需求量的增长。

表1-6 2004年世界一次能源人均消费

国家	一次能源人均消费/(吨标油/人)
中国	1.08
美国	8.02
日本	4.03
英国	3.82
世界平均水平	1.63

注:英国石油公司BP资料

随着需求的快速增长,我国能源供给约束越来越大。就国内资源状况而言,我国人均能源可开采量远远低于世界平均水平。2003年,我国人均石油、天然气、煤炭可采量分别为世界平均值的10%、5%、57%,就国内生产能力而言,我国原油产量仅占世界的4.6%,天然气为1.3%,煤炭产量为33.5%。就国际市场而言,今后世界各国争夺资源的竞争也会越来越激烈。综合起来看,当前我国能源供给的矛盾已超出生产能力不足这个层面,更为突出地表现为资源不足的“瓶颈性”约束。

2. 能源安全特别是石油安全问题日益严峻

“十五”期间,我国能源进口依存度不断上升,尤其是石油的进口依存度上升很快。2001~2003年,我国原油进口依存度从39.93%上升到48.62%,平均每年上升4.4个百分点。三年间我国原油进口依存度平均水平达到43.33%(表1-7)。

表1-7 我国原油进口依存度(由国家统计局年鉴计算)

年份	进口依存度/%
2000	43.44
2001	39.93
2002	41.44
2003	48.62
“十五”前三年平均值	43.33

随着进口石油数量的持续增加,国际石油价格的上涨对我国的影响越来越大。据有关部门测算,国际油价每桶变动 1 美元,将影响进口用汇 46 亿元人民币,直接影响我国 GDP 增长 0.043 个百分点。最近两年,国际原油价格屡创新高,我国身受其害。从统计资料来看,2004 年,原油进口平均价格比 2003 年上涨 58.9 美元/吨,我国为此多支付外汇 70.68 亿美元;2005 年,国际油价上涨更多,据估计我国至少为此多支付外汇 100 亿美元。

从国际上进口大量的石油,意味着风险性因素增多和不安全程度提高,能源安全特别是石油安全问题日益严峻。

3. 能源利用效率较低,浪费严重

我国在能源利用上仍处于粗放型增长阶段。当前,我国社会经济发展中存在一个较为突出的矛盾,就是在能源资源相对贫乏的条件下,不少地区的经济增长速度仍然是靠“三高”(高投资、高能耗、高污染)来支撑,结果表现为“两低”(低质量、低效益)以及“三荒”(煤荒、电荒、油荒)现象。

从能源消耗强度来看,2003 年按现行汇率计算的每百万美元能耗,我国为 893 吨标油,比当时世界平均水平高 2.3 倍,比发达国家美国、日本分别高 2.7 倍、9.4 倍,比同样是发展中国家的印度还高 45%(见表 1-8 及图 1-2)。

表 1-8 2003 年单位 GDP 能耗国际比较

国家	GDP	一次能源消费量	单位 GDP 能耗	单位 GDP 能耗比率
	亿美元	百万吨标油	吨标油/万美元	(中国/外国)
中国	13 200	1 178.3	8.93	1.00
印度	5 590	345.3	6.18	1.45
韩国	7 330	212	2.89	3.09
日本	58 800	504.8	0.86	10.40
俄罗斯	5 060	670.8	13.26	0.67
德国	27 100	332.2	1.23	7.28
法国	18 300	260.6	1.42	6.27
英国	13 900	223.2	1.61	5.56
意大利	12 400	181.9	1.47	6.09
加拿大	7 540	291.4	3.86	2.31
美国	94 600	2 297.8	2.43	3.68
世界平均水平	36 300	9 741.1	2.68	3.33

注:摘自世界经济年鉴

从能源利用效率来看,根据国家发展和改革委员会公布的信息,目前我

国的能源利用效率为 33%，比发达国家约低 10 个百分点。电力、钢铁、有色、石化、建材、化工、轻工、纺织等 8 个行业主要产品单位能耗平均比国际先进水平高 40%；钢、水泥、纸和纸板的单位产品综合能耗比国际先进水平分别高 21%、45% 和 120%；机动车油耗水平比欧洲高 25%，比日本高 20%；我国单位建筑面积采暖能耗相当于气候条件相近的发达国家的 2~3 倍。

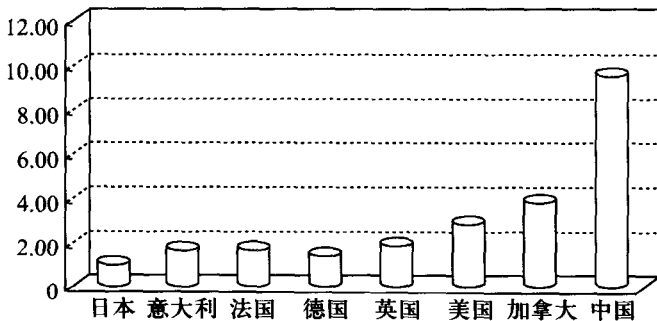


图 1-2 中国与其他发达国家单位 GDP 产出能耗量对比(2003 年)

如不改变能源低效利用的现实,到 2020 年,我国要以能源翻一番实现经济翻两番的目标,按 2003~2005 年能源消费增长的趋势,我国能源消费量将高达 40 多亿吨标煤,在能源供应及能源安全等方面都会带来严重问题。即便考虑到各种节能因素,我国能源消费量仍将达 30 亿吨标煤,因此必须通过节能提高能源利用效率。

4. 我国能源供需结构均以煤为主,能源工作必须兼顾环境保护

随着全球气候变暖和大气环境质量的急剧下降,环保问题受到了世界各国的普遍重视。在我国,以煤为主的能源供需结构是环境污染日趋严重的主要原因。我国是《联合国世界气候变化框架公约》的签字国,环境因素将逐渐成为我国能源工作中不容忽视的问题。

从能源消费结构优化进程来看,发达国家早在 20 世纪 60 年代就基本完成了以煤为主向以油气为主的能源消费结构的转变,其转变历程大约经历了 60 年。所以,我国要在 2050 年达到中等发达国家水平,从现在起必须重视改善能源结构的问题。这也是我国树立科学发展观,构建资源节约型、环境友好型社会的必然要求。

1.1.4 我国能源供需预测

我国“十一五”期间一次能源供给能力、一次能源需求量和生产生活需求结构预测见表 1-9。